过量蛋氨酸对 7～28 日龄北京鸭生长性能和血液指标的影响

薛佳佳[1,2] 谢 明[1] 唐 静[1] 黄 苇[1] 张 琪[1] 侯水生[1*] 卢连水[3]

（1.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，北京 100193；2.重庆市畜牧科学院，重庆 402460；3.河北省肃宁县农业局，沧州 062350）

摘 要：本试验旨在探究饲粮中添加过量蛋氨酸对 7~28 日龄北京鸭生长性能和血液指标的影响，并评估 7~28 日龄北京鸭饲粮中蛋氨酸的最大安全限量。试验选取 7 日龄健康雄性北京鸭 252 只，依据体重基本一致原则，随机分为 6 个组，每组 7 个重复，每个重复 6 只鸭。各组分别饲喂蛋氨酸水平为 0.48%、0.73%、0.98%、1.23%、1.48%和 1.73%的饲粮。其中，正常饲粮蛋氨酸为 0.48%水平，满足育雏期北京鸭正常生长需要。试验期 21 d。结果表明：1）与饲粮蛋氨酸水平为 0.48%时相比，当饲粮蛋氨酸水平为 0.98%及以上时，试验鸭末重、平均日采食量和平均日增重均显著降低（$P<0.05$），且随蛋氨酸水平的升高进一步显著降低（$P<0.05$）。各组间料重比无显著差异（$P>0.05$）。2）与饲粮蛋氨酸水平为 0.48%时相比，当饲粮蛋氨酸水平为 0.98%及以上时，血浆总胆红素含量显著升高（$P<0.05$）；当饲粮蛋氨酸水平为 1.23%及以上时，血浆高半胱氨酸含量显著升高（$P<0.05$），且随蛋氨酸水平的升高而进一步显著升高（$P<0.05$）；当饲粮蛋氨酸水平为 1.73%时，血浆谷丙转氨酶和乳酸脱氢酶活性显著升高（$P<0.05$）。3）与饲粮蛋氨酸水平为 0.48%时相比，当饲粮蛋氨酸水平为 0.98%及以上时，血液血红蛋白含量和平均红细胞血红蛋白浓度均显著降低（$P<0.05$）；当饲粮蛋氨酸水平为 1.23%及以上时，血液平均红细胞血红蛋白含量显著降低（$P<0.05$）；当饲粮蛋氨酸水平为 1.48%及以上时，血液红细胞体积分布宽度和平均红细胞体积显著升高（$P<0.05$），血液红细胞计数显著降低（$P<0.05$）。4）以平均日增重为评价指标，采用折线模型估测 7~28 日龄北京鸭饲粮蛋氨酸的最大安全限量为 0.87%。由此可见，饲粮中添加过量蛋氨酸可显著抑制 7～28 日龄北京鸭的生长，导致血液指标异常。7~28 日龄北京鸭饲粮蛋氨酸的最大安全限量为 0.87%。

关键词：蛋氨酸；鸭；生长性能；安全限量；血液指标

中图分类号：S834 文献标识码： 文章编号：

收稿日期：2018-01-15

基金项目：现代水禽产业技术体系建设专项资金(CARS-42).

作者简介：薛佳佳（1991–），女，河南新乡人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: xuejiajia25@163.com

*通信作者：侯水生，研究员，博士生导师，E-mail: houss@263.net

蛋氨酸是肉鸭生长发育所必需的氨基酸，在机体内参与蛋白质合成、甲基代谢、生物抗氧化等重要生理生化过程[1-5]。同时，因肉鸭配合饲料多以蛋氨酸含量较低的玉米、豆粕、杂粕等植物性饲料原料为主，蛋氨酸是肉鸭饲粮的第 1 限制性氨基酸。因此，生产中需要将晶体蛋氨酸添加到肉鸭饲粮中以满足肉鸭生长需要。饲粮中添加适宜水平的蛋氨酸可促进肉鸭生长、改善胴体品质、促进羽毛生长[6-8]。然而，蛋氨酸是一种毒性很强的氨基酸。在蛋氨酸水平正常（0.38%）的饲粮中添加 1%晶体蛋氨酸可显著降低 21~42 日龄北京鸭平均日增重（ADG）和平均日采食量（ADFI）[9]。目前，肉鸭饲粮蛋氨酸安全限量的研究未见相关报道，而现已发表蛋氨酸毒性的研究报道受饲粮蛋氨酸水平少的限制尚，无法准确的预测出其安全限量。目前，折线模型已经成功应用于家禽饲料原料最大安全限量的预测[10]。这为蛋氨酸最大安全限量的研究提供了新的统计方法。同时，天然存在蛋氨酸以 *L* 构型蛋氨酸为主。因此，本试验以晶体 *L*-蛋氨酸为蛋氨酸来源，在蛋氨酸水平满足肉鸭营养需要的基础上添加不同水平的晶体 *L*-蛋氨酸，研究饲粮中添加过量蛋氨酸对 7~28 日龄北京鸭生长性能和血液指标的影响，并通过折线模型预测肉鸭饲粮中蛋氨酸最大安全限量，为肉鸭饲粮中晶体蛋氨酸的合理安全使用提供技术参数和理论指导。

1　材料与方法

1.1　试验设计及饲粮组成

试验采用单因子完全随机试验设计，设 6 个饲粮蛋氨酸水平（0.48%、0.73%、0.98%、1.23%、1.48%和 1.73%）。基础饲粮营养水平主要参考我国《肉鸭饲养标准》（NY/T 2122-2012）配制而成，且蛋氨酸水平（0.48%）满足育雏期北京鸭正常生长需要，基础饲粮组成及营养水平见表 1。通过在基础饲粮中添加 6 个不同蛋氨酸添加水平（0、0.25%、0.50%、0.75%、1.00%和 1.25%）配制成 6 种不同蛋氨酸水平（0.48%、0.73%、0.98%、1.23%、1.48%和 1.73%）的试验饲粮。其中，蛋氨酸添加形式为晶体 *L*-蛋氨酸(纯度 99%)，试验饲粮均制成颗粒饲料。依据每组每重复试验鸭初始体重基本一致的原则，将 252 只 7 日龄健康雄性北京鸭随机分为 6 个组，每组 7 个重复，每重复 6 只鸭。试验期 21 d。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	

玉米 Corn	62.07
豆粕 Soybean meal	32.80
食盐 NaCl	0.30
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.55
石粉 Limestone	1.10
预混料 Premix[1)]	1.00
L-蛋氨酸 *L*-Met	0.18
豆油 Soybean oil	1.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.03
粗蛋白质 CP	19.94
钙 Ca	0.82
非植酸磷 AP	0.35
蛋氨酸 Met	0.48
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.82
赖氨酸 Lys	1.03
色氨酸 Trp	0.23
精氨酸 Arg	1.32
苏氨酸 Thr	0.75

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kilogram of the diet：Cu 10 mg，Fe 60 mg，Zn 60 mg，Mn 80 mg，Se 0.3 mg，I 0.2 mg，氯化胆碱 choline chloride 1 000 mg，VA 10 000 IU，VD_3 3 000 IU，VE 20 IU，VK_3 2 mg，硫胺素 thiamin 2 mg，核黄素 riboflavin 8 mg，VB_6 4 mg，VB_{12} 0.02 mg，泛酸 pantothenic acid 20 mg，叶酸 folic acid 1 mg，生物素 biotin 0.2 mg。

[2)] 营养水平均为计算值。Nutrient levels were all calculated values.

1.2 饲养管理

试验鸭网上平养，自由采食与饮水，24 h 光照。7～28 日龄按试验饲粮分组饲养，其他按常规饲养管理进行。

1.3 生长性能测定

于29日龄早晨，分别称取各组各重复鸭只空腹体重和剩余饲料重，计算7～28日龄鸭平均日增重、平均日采食量和料重比（F/G）。

1.4 血液指标测定

于29日龄早晨，从每组每重复随机挑选试验鸭2只，颈静脉采血6 mL。其中，3 mL置于乙二胺四乙酸二钠（Na_2EDTA）抗凝管中，用于血液常规指标测定。另外3 mL置于肝素钠抗凝管中，3 500 r/min离心15 min，分离血浆，用于血浆生化指标的测定。

血液中血红蛋白（Hb）含量、红细胞计数（RBC）、平均红细胞血红蛋白含量（MCH）、平均红细胞血红蛋白浓度（MCHC）、平均红细胞体积（MCV）和红细胞体积分布宽度（RDW）等血常规指标采用德国ABX Pentra 120血细胞分析仪进行分析，试剂盒购自德国ABX公司。

血浆总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、尿酸（UA）、总胆红素（TBIL）含量及谷草转氨酶（AST）、谷丙转氨酶（ALT）和乳酸脱氢酶（LDH）活性采用HITACHI7080全自动生化分析仪进行分析，试剂盒均购自四川迈克生物科技股份有限公司。血浆高半胱氨酸（Hcy）含量参考谢明[11]方法采用柱前荧光衍生高效液相色谱法进行分析，测定仪器为Waters 2690液相色谱仪。

1.5 统计分析

试验数据用“平均值±标准差”表示。试验数据采用SAS 9.3统计软件进行统计分析，应用GLM程序按完全随机试验设计进行单因子方差分析。以P<0.05为显著性水平，运用Duncan氏法进行平均值之间的多重比较。同时，依据Alhotan等[10]的方法，采用折线模型预测肉鸭饲粮中蛋氨酸的最大安全限量。

折线模型如下：

$y=l \qquad x<r$；

$y=l+u(x-r) \qquad x\geq r$。

式中：y为肉鸭生产性能；x为饲粮蛋氨酸水平(%)；r为蛋氨酸最大安全限量(%)；l为当$x=r$时肉鸭的生产性能；u为折线模型的斜率；在该模型中，当$x<r$时，$y=l$。

2 结　果

2.1 过量蛋氨酸对7～28日龄北京鸭生长性能的影响

由表2可知，过量蛋氨酸对北京鸭末重、平均日增重及平均日采食量均产生显著影响（P<0.05）。与饲粮蛋氨酸水平为0.48%和0.73%时相比，饲粮蛋氨酸水平为0.98%时，北京鸭末重显著降低（P<0.05），北京鸭平均日增重和平均日采食量显著降低（P<0.05），且随饲粮蛋氨酸水平的升高而进一步显著降低（P<0.05）。各组间的北京鸭料重比无显著差异

（*P*>0.05）。

表 2　过量蛋氨酸对 7～28 日龄北京鸭生长性能的影响

Table 2　Effects of excess methionine on growth performance of Peking ducks during 7 to 28 days of age

项目	饲粮蛋氨酸水平 Dietary methionine level/%						*P* 值
Items	0.48	0.73	0.98	1.23	1.48	1.73	*P*-value
始重 Initial body weight/g	145.4±1.9	144.4±2.1	144.2±2.0	144.8±2.1	144.9±2.0	145.0±2.8	0.950 6
末重 Final body weight/g	1 820.6±34.3[a]	1 828.0±53.5[a]	1 722.5±44.0[b]	1 609.7±75.9[c]	1 375.9±64.1[d]	1 216.7±24.4[e]	<0.000 1
平均日采食量 ADFI/g	151.0±2.4[a]	149.2±5.4[a]	138.4±3.6[b]	128.2±6.8[c]	108.1±4.2[d]	93.5±3.5[e]	<0.000 1
平均日增重 ADG/g	79.8±1.6[a]	80.2±2.5[a]	75.2±2.1[b]	69.8±3.6[c]	58. 6±3.1[d]	51.0±1.1[e]	<0.000 1
料重比 F/G	1.89±0.02	1.86±0.04	1.84±0.03	1.84±0.04	1.85±0.06	1.83±0.04	0.064 2

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），相同或无字母表示差异不显著（*P*>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05). The same as below.

2.2　过量蛋氨酸对 28 日龄北京鸭血浆生化指标的影响

由表 3 可知，过量蛋氨酸对 28 日龄北京鸭血浆总胆红素、高半胱氨酸含量及谷丙转氨酶、乳酸脱氢酶活性均产生显著影响（*P*<0.05），而对总蛋白、白蛋白、尿酸含量及谷草转氨酶活性均未产生显著影响（*P*>0.05）。与饲粮蛋氨酸水平为 0.48%时相比，当饲粮蛋氨酸水平为 0.98%及以上时，血浆总胆红素含量显著升高（*P*<0.05）；当饲粮蛋氨酸水平为 1.23%及以上时，血浆高半胱氨酸含量显著升高（*P*<0.05），且随蛋氨酸水平的升高而进一步显著升高（*P*<0.05）；当饲粮蛋氨酸水平为 1.73%时，血浆谷丙转氨酶和乳酸脱氢酶活性显著升高（*P*<0.05）。

表 3　过量蛋氨酸对 28 日龄北京鸭血浆生化指标的影响

Table 3 Effects of excess methionine on plasma biochemical parameters of Peking ducks at 28 days of age

项目	饲粮蛋氨酸水平 Dietary methionine level/%						*P* 值
Items	0.48	0.73	0.98	1.23	1.48	1.73	*P*-value
总蛋白 TP/（g/L）	12.8±2.0	13.2±2.4	12.7±2.0	12.8±3.2	14.2±3.8	15.0±2.2	0.508 5
白蛋白 ALB/（g/L）	15.3±0.8	15.0±1.0	14.07±1.6	14.19±1.2	14.49±0.5	15.00±0.8	0.192 6
尿酸 UA/（μmol/L）	147.5±27.7	141.7±32.4	130.9±25.1	124.2±21.4	127.6±16.8	155.4±33.2	0.221 3
总胆红素 TBIL/%	6.7±0.9^{d}	7.5±0.4^{cd}	8.0±1.0^{bc}	8.2±1.0^{bc}	8.6±0.8^{b}	9.9±1.2^{a}	<0.000 1
谷草转氨酶 AST/（U/L）	10.6±1.9	9.3±1.2	10.1±1.2	10.6±2.1	10.2±2.1	11.2±1.4	0.424 3
谷丙转氨酶 ALT/（U/L）	30.0±4.7^{b}	29.9±4.8^{b}	33.6±5.4^{b}	37.3±7.2^{ab}	36.6±8.3^{ab}	44.0±8.3^{a}	0.002 7
乳酸脱氢酶 LDH/（U/L）	274.8±34.6^{b}	281.1±71.3^{b}	266.1±48.7^{b}	306.9±37.9^{b}	280.1±54.6^{b}	387.4±60.6^{a}	0.001 2
高半胱氨酸 Hcy/（μmol/L）	16.0±3.2^{d}	15.0±1.5^{d}	15.7±2.6^{d}	19.2±3.5^{c}	27.7±3.9^{b}	41.2±4.5^{a}	<0.000 1

2.3 过量蛋氨酸对 28 日龄北京鸭血液常规指标的影响

由表 4 可知，过量蛋氨酸对 28 日龄北京鸭血液血红蛋白含量、红细胞计数、平均红细胞血红蛋白浓度、平均红细胞血红蛋白含量、平均红细胞体积和红细胞体积分布宽度均产生显著影响（P<0.05）。与饲粮蛋氨酸水平为 0.48%时相比，当饲粮蛋氨酸水平为 0.98%及以上时，血液血红蛋白含量和平均红细胞血红蛋白浓度均显著降低（P<0.05）；当饲粮蛋氨酸水平为 1.23%及以上时，血液平均红细胞血红蛋白含量显著降低（P<0.05）；当饲粮蛋氨酸水平为 1.48%及以上时，血液红细胞体积分布宽度显著升高（P<0.05），血液红细胞计数显著降低（P<0.05），而血液平均红细胞体积显著升高（P<0.05）。

表 4 过量蛋氨酸对 28 日龄北京鸭血液常规指标的影响

Table 4 Effects of excess methionine on routine blood routine parameters of Peking ducks at 28 days of age

项目	饲粮蛋氨酸水平 Dietary methionine level/%						*P* 值
Items	0.48	0.73	0.98	1.23	1.48	1.73	*P*-value
血红蛋白 Hb/（g/L）	107.9±3.1^{a}	102.79±7.7^{ab}	101.2±4.5^{bc}	101.4±4.2^{b}	95.9±4.7^{c}	95.4±5.7^{c}	0.000 6
红细胞计数 RBC/（×10^{12}/L）	2.3±0.1^{a}	2.2±0.1^{ab}	2.2±0.1^{ab}	2.2±0.1^{ab}	2.2±0.1^{b}	2.2±0.1^{b}	0.049 2
平均红细胞血红蛋白浓度	280.6±6.6^{a}	277.2±6.4^{a}	270.4±4.3^{b}	267.0±6.7^{b}	256.7±5.4^{c}	249.0±6.2^{d}	<0.000 1

MCHC/（g/L）							
平均红细胞血红蛋白含量 MCH/（pg）	47.1±1.0[a]	46.3±1.0[ab]	45.7±1.6[abc]	45.4±1.1[bc]	44.5±2.1[cd]	43.2±1.2[d]	0.000 1
平均红细胞体积 MCV/fL	166.3±2.6[b]	167.5±2.5[b]	170.1±2.2[ab]	170.0±5.4[ab]	174.0±7.3[a]	173.3±3.7[a]	0.012 1
红细胞体积分布宽度 RDW/%	7.3±0.2[c]	7.3±0.2[c]	7.6±0.3[bc]	7.8±0.3[ab]	7.9±0.4[ab]	7.9±0.3[a]	0.000 3

2.4　7～28 日龄北京鸭饲粮蛋氨酸的最大安全限量

采用折线模型回归分析，得到饲粮中蛋氨酸水平（x）与平均日增重（y）的回归方程：y=79.97-33.41×(x-0.87)(图 1)。由回归方程可知，7～28 北京鸭饲粮蛋氨酸的最大安全限量为 0.87%。

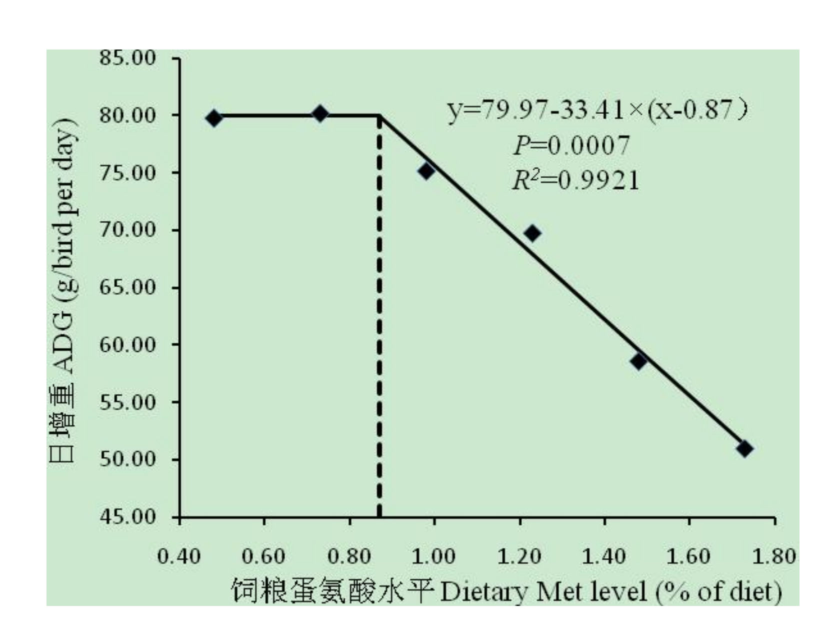


图 1　饲粮中蛋氨酸水平与 7～28 日龄北京鸭平均日增重的回归关系

Fig.1　Regression relationship between dietary methionine level and average daily gain of Peking ducks during 7 to 28 days of age

3　讨　论

3.1　过量蛋氨酸对 7～28 日龄北京鸭生长性能的影响

与其他氨基酸相比，蛋氨酸的耐受范围比较窄，毒性作用比较明显[12]，因而也获得了许多研究者的关注。陈克嶙等[13]在半纯合饲粮中添加 1.02% *DL*-蛋氨酸可显著降低 21 日龄肉鸡体重和饲料转化效率，同时引起肉鸡胫骨软骨发育不良发病率显著升高。Han 等[14]以玉米-豆粕型饲粮为基础饲粮，饲粮中添加 1.00%、2.00%和 4.00% *DL*-蛋氨酸均可降低 8~22 日龄肉鸡的平均日增重、平均日采食量和饲料转化效率。Baker 等[15]的研究表明，以纯合饲

粮为基础饲粮（0.35%蛋氨酸+0.35%半胱氨酸），饲粮中添加 1.75% *L*-蛋氨酸会显著降低肉仔鸡的平均日增重和料重比。Xie 等[9]研究发现，无论添加 *DL*-蛋氨酸（1.00%和 2.00%）还是等摩尔浓度的 *DL*-羟基类似物游离酸均显著抑制生长后期北京鸭的平均日增重和平均日采食量。在本研究中，当饲粮蛋氨酸水平高于 0.98%时，北京鸭平均日增重和平均日采食量均显著降低，该结果与上述研究报道一致。随饲粮蛋氨酸水平升高，北京鸭平均日采食量显著降低，可能是由于过量蛋氨酸竞争性抑制与其受体相同的氨基酸的摄取，进而引起这些氨基酸在动物脑部的耗竭，中枢神经系统进一步反馈性抑制动物采食氨基酸不平衡的饲粮[16]。有研究发现，这可能与胰岛素水平升高有关，但具体机制还有待进一步研究[17]。本试验中，北京鸭平均日采食量显著降低的同时，平均日增重也显著下降，而料重比无显著变化，表明过量蛋氨酸对肉鸭采食量的抑制作用是其限制肉鸭生长的主要原因。

3.2　过量蛋氨酸对 28 日龄北京鸭血浆生化指标的影响

血液生化指标是反映机体代谢状况的重要指标，能在一定程度上反映动物的生长和健康状况，已在动物生产、营养调控和疾病诊断等方面得到广泛应用[18-19]。高半胱氨酸是蛋氨酸代谢的中间产物，血浆高半胱氨酸是反映蛋氨酸毒性的敏感指标[12]。在本试验中，当饲粮蛋氨酸水平为 1.23%及以上时，鸭血浆高半胱氨酸含量显著升高，这不仅反映出过量蛋氨酸对肉鸭的毒性，也反映出过量蛋氨酸导致肉鸭体内蛋氨酸分解代谢增强，进而导致作为中间代谢产物的高半胱氨酸大量堆积。目前医学研究表明，血浆中过高的高半胱氨酸含量是导致人类心血管疾病的独立危险因子。心脑血管疾病的发生与高高半胱氨酸含量导致血管内皮细胞损伤密切相关[20]。在冠心病、脑卒中、急性脑血管病等心血管疾病患者血浆中高半胱氨酸含量显著高于正常人[21-23]。因此，机体内过高高半胱氨酸含量可能是蛋氨酸导致肉鸭毒性的原因之一。此外，谷丙转氨酶、谷草转氨酶主要存在于肝细胞中，正常情况下血液中含量很少，但当肝细胞受到损伤时，会被大量释放进入血液，血液中以上转氨酶活性显著升高。因此，血液中转氨酶活性是反映肝损伤的灵敏指标。同时，血浆总胆红素含量是直接胆红素和间接胆红素的总和，其含量升高能够反映肝脏的分泌和排泄功能出现异常[24]。本试验中，过量的饲粮蛋氨酸可导致肉鸭血浆总胆红素含量和谷丙转氨酶活性显著升高。韩燕云等[17]在过量蛋氨酸对 3~6 周龄北京鸭毒性作用的研究中也发现，过量蛋氨酸在显著抑制肉鸭生长的同时，血浆谷丙转氨酶活性显著升高。这与本试验结果相一致，也进一步提示了饲粮中量蛋氨酸可导致肉鸭肝脏损伤。

3.3　过量蛋氨酸对 28 日龄北京鸭血液常规指标的影响

血液是由血浆和血细胞组成，全血血常规检查主要对机体血细胞进行的定量检测，它能

够很好地反映机体的健康状态。目前，关于饲粮中蛋氨酸水平对动物血常规指标影响的研究较少。在人类医学中，血红蛋白含量、红细胞计数、平均红细胞血红蛋白浓度、平均红细胞血红蛋白含量、平均红细胞体积和红细胞体积分布宽度主要用于贫血的诊断和推断疾病发生的原因[25-26]。其中，利用平均红细胞体积和红细胞体积分布宽度进行贫血分类具有很好的临床应用价值，二者均出现升高时，常被诊断为“巨幼细胞性贫血”[26]。巨幼细胞性贫血，是一种营养不良性贫血，主要是由体内叶酸、维生素 B_{12} 缺乏引起，并伴有高半胱氨酸含量升高[27]。本试验中，饲粮蛋氨酸水平过高会引起血液血红蛋白含量、红细胞计数、平均红细胞血红蛋白浓度、平均红细胞血红蛋白含量显著降低，平均红细胞体积、红细胞体积分布宽度显著升高，这些结果不仅表明过量蛋氨酸对肉鸭红细胞造成损伤，也表明过量蛋氨酸可能导致肉鸭产生“巨幼细胞性贫血”。这可能与本试验中摄入过量蛋氨酸肉鸭的血浆高半胱氨酸含量显著升高密切相关。在动物体内，蛋氨酸循环过程中的再甲基化途径是实现高半胱氨酸降解的重要途径，而该途径需要叶酸和维生素 B_{12} 参与。因此，摄入过量蛋氨酸会导致高半胱氨酸的降解途径加强，进而加大机体对叶酸和维生素 B_{12} 的需求。

3.4 7～28 日龄北京鸭饲粮蛋氨酸的最大安全限量

研究表明，饲粮中添加适量的蛋氨酸能显著提高动物的生长性能，改善畜禽产品品质，但添加过量蛋氨酸会抑制动物的正常生长，严重时可导致死亡[9,28-29]。本研究也显示，饲粮中添加过量蛋氨酸对 7~28 日龄北京鸭有明显的毒性作用。因此，确定蛋氨酸的最大安全限量对肉鸭的实际生产有指导意义。最近，Alhotan 等[10]评估了折线模型在预测最大安全限量的有效性，结果显示折线模型能更好地预测饲料原料的最大安全限量。本研究中，以平均日增重为评价指标，采用折线模型估测 7~28 日龄北京鸭饲粮蛋氨酸的最大安全限量为 0.87%。当育雏期肉鸡饲粮中蛋氨酸水平为 0.57、0.46%、0.51%时，饲粮中添加 1.00%蛋氨酸对肉鸡的平均日增重无显著抑制作用[15,30-31]。然而，本试验所估测出的饲粮蛋氨酸最大安全限量低于 1%，这表明过量蛋氨酸对育雏期北京鸭生长的抑制作用要强于肉仔鸡。

4 结　论

本试验条件下，饲粮中添加过量蛋氨酸会抑制 7~28 日龄北京鸭的生长，引起血液指标异常。以平均日增重为评价指标，采用折线模型估测 7~28 日龄北京鸭蛋氨酸的最大安全限量为 0.87%。

参考文献:

[1] BUNCHASAK C.Role of dietary methionine in poultry production[J].The Journal of Poultry Science,2009,46(3):169–179.

[2] RAO S V R,PRAHARAJ N K,PANDA A K,et al.Interaction between genotype and dietary concentrations of methionine for immune function in commercial broilers[J].British Poultry Science,2003,44(1):104–112.

[3] SKŘIVAN M,ENGLMAIEROVÁ M,DLOUHÁ G,et al.High dietary concentrations of methionine reduce the selenium content,glutathione peroxidase activity and oxidative stability of chicken meat[J].Czech Journal of Animal Science,2011,56(9):398–405.

[4] 宗凯.日粮中蛋氨酸和赖氨酸水平对肉鸡生产性能及基因组甲基化的影响[D].硕士学位论文.合肥:合肥工业大学,2010.

[5] 张致平.*DL*-蛋氨酸、*L*-蛋氨酸和蛋氨酸羟基类似物钙盐在肉鸡上的相对生物学效价及其抗氧化功能的研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2015.

[6] XIE M,HOU S S,HUANG W,et al.Interrelationship between methionine and cystine of early Peking ducklings[J].Poultry Science,2004,83(10):1703–1708.

[7] XIE M,HOU S S,HUANG W.Methionine requirements of male white Peking ducks from twenty-one to forty-nine days of age[J].Poultry Science,2006,85(4):743–746.

[8] ZENG Q F,ZHANG Q,CHEN X,et al.Effect of dietary methionine content on growth performance,carcass traits,and feather growth of Pekin duck from 15 to 35 days of age[J].Poultry Science,2015,94(7):1592–1599.

[9] XIE M,HOU S S,HUANG W,et al.Effect of excess methionine and methionine hydroxy analogue on growth performance and plasma homocysteine of growing Pekin ducks[J].Poultry Science,2007,86(9):1995–1999.

[10] ALHOTAN R A,VEDENOV D V,PESTI G M.Estimation of the maximum safe level of feed ingredients by spline or broken-line nonlinear regression models[J].Poultry Science,2017,96(4):904–913.

[11] 谢明.北京鸭生长前期蛋氨酸与胱氨酸互作关系的研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2003.

[12] TOUE S,KODAMA R,AMAO M,et al.Screening of toxicity biomarkers for methionine excess in rats[J].The Journal of Nutrition,2006,136(6):1716S–1721S.

[13] 陈克嶙,郭荣富,郭亚东,等.含硫氨基酸与铜对肉鸡胫骨软骨发育不良的影响[J].畜牧与兽医,1999(4):10–12.

[14] HAN Y M,BAKER D H.Effects of excess methionine or lysine for broilers fed a

corn-soybean meal diet[J].Poultry Science,1993,72(6):1070–1074.

[15] BAKER D H,BOEBEL K P.Utilization of the *D*-and *L*-isomers of methionine and methionine hydroxy analogue as determined by chick bioassay[J].The Journal of Nutrition,1980,110(5):959–964.

[16] PENG Y,GUBIN J,HARPER A E,et al.Food intake regulation:amino acid toxicity and changes in rat brain and plasma amino acids[J].The Journal of Nutrition,1973,103(4):608–617.

[17] 韩燕云.蛋氨酸对北京鸭摄食调控的作用及其机理研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2007.

[18] 周玉香,吕玉玲,王洁,等.血液生化指标在动物生产与营养调控研究中的应用概况[J].畜牧与饲料科学,2012,33(5):72–74.

[19] 田军权,何流琴,黄牛,等.谷氨酰胺对脂多糖应激仔猪生长性能及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2017,29(5):1670–1677.

[20] 张霁.同型半胱氨酸致血管内皮细胞损伤机制的研究[D].博士学位论文.成都:四川大学,2005.

[21] 王毓明,李明珍,汤佩麟,等.血浆总高半胱氨酸与心,脑血管病关系的研究[J].营养学报,1998,20(3):272–275.

[22] 金万花,赵菊芳,王福彦.服用叶酸、维生素 B_6 对降低急性脑血管病患者血清同型半胱氨酸水平的结果观察[J].检验医学,2006,21(4):358–359.

[23] 沈若燕,陈芬,余珍波,等.冠心病与血清同型半胱氨酸的相关性分析[J].中国卫生检验杂志,2010,20(12):3380–3381.

[24] 郭军蕊,董晓芳,佟建明.枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡生产性能、血常规指标、血清生化指标及免疫球蛋白含量的影响[J].动物营养学报,2017,29(2):465–478.

[25] 王娴默,肖林,李彦林.血常规检验在贫血鉴别诊断中的临床应用[J].国际检验医学杂志,2015,14(16):2422–2423.

[26] 李振玲,周晓芳.红细胞 MCV、RDW 值进行贫血分类法的临床应用价值探讨[J].医学理论与实践,2010,23(10):1240–1241.

[27] 顾炳权,詹晓梅,王作军,等.巨幼细胞性贫血患者同型半胱氨酸检测的意义[J].中国血液流变学杂志,2004,14(4):556–557.

[28] 谢玉生,刘辉,周明安,等.蛋氨酸过量会引起蛋鸡代谢性中毒[J].中国饲料,1998(6):19.

[29] 谭利伟,麻丽坤,卫振,等.蛋氨酸对开产蛋鸡生产性能及蛋品质的影响[J].中国饲料,2007(3):32–34.

[30] SCHERER C S,BAKER D H.Excess dietary methionine markedly increases the vitamin B-6 requirement of young chicks[J].The Journal of Nutrition,2000,130(12):3055–3058.

[31] DILGER R N,TOUE S,KIMURA T,et al.Excess dietary *L*-cysteine,but not *L*-cystine,is lethal for chicks but not for rats or pigs[J].The Journal of Nutrition,2007,137(2):331–338.

Effects of Excess Methionine on Growth Performance and Blood Parameters of Peking Ducks during 7 to 28 Days of Age[1]

XUE Jiajia[1,2] XIE Ming[1] TANG Jing[1] HUANG Wei[1] ZHANG Qi[1] HOU Shuisheng[1*] LU Lianshui[3]

(1. *Institute of Animal Sciences*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100193, *China*; 2. *Chongqing Academy of Animal Sciences, Chongqing* 402460, *China*; 3. *County Agriculture Bureau of Suning in Hebei*, *Cangzhou* 062350, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of excess methionine on growth performance and blood parameters of Peking ducks during 7 to 28 days of age, and to determine the maximum safe level of methionine of Peking ducks during 7 to 28 days of age. A total of 252 seven-day-old healthy male Peking ducks were randomly allotted to 6 groups with 7 replicates per group and 6 ducks per replicate according to similar pen weight. The ducks in 6 groups were fed diets with methionine levels of 0.43%, 0.73%, 0.98%, 1.23%, 1.48 and 1.73%, respectively. The diet with methionine level of 0.48% was a methionine-adequate diet for ducks. The experiment lasted for 21 days. The results showed as follows: 1) compared to the dietary methionine level of 0.45%, when dietary methionine level was 0.98% or above, the final body weight (FBW), average daily gain (ADG) and average daily feed intake (ADFI) of ducks were significantly decreased (P<0.05), and the FBW, ADG and ADFI were significantly decreased with methionine level increased (P<0.05). However, there was no significant difference on the ratio of feed to gain (F/G) among six groups (P>0.05). 2) Compared to the dietary methionine level of 0.45%, when dietary methionine level was 0.98% or above, the plasma total bilirubin content was

*Corresponding author, professor, E-mail: houss@263.net （责任编辑 武海龙）

significantly increased (P<0.05); when dietary methionine level was 1.23% or above, the plasma homocysteine content was significantly increased (P<0.05), and it was significantly increased with methionine level increased (P<0.05); when dietary methionine level was 1.73%, the activities of glutamic-pyruvic transaminase and lactic dehydrogenase in plasma were significantly increased (P<0.05). 3) Compared to the dietary methionine level of 0.45%, when dietary methionine level was 0.98% or above, the blood hemoglobin content and mean corpuscular hemoglobin concentration were significantly decreased (P<0.05); when dietary methionine level was 1.23% or above, the blood mean corpuscular hemoglobin content was significantly decreased (P<0.05); when dietary methionine level was 1.48% or above, the blood red cells volume distribution width and mean corpuscular volume were significantly increased (P<0.05), while the blood red cell count was significantly decreased (P<0.05). 4) Use ADG as a evaluation index, according to broken-line regression analysis, the maximum safe level of methionine of Peking ducks during 7 to 28 days of age was 0.87%. In conclusion, dietary excess methionine can inhibit the growth of Peking ducks during 7 to 28 days of age and cause in the abnormal blood parameters. The maximum safe level of methionine of Peking ducks during 7 to 28 days of age is 0.87%.

Key words: methionine; ducks; growth performance; maximum safe level; blood parameters